

Uma primeira aproximação multimodal da técnica de *strumming*

MODALIDADE: COMUNICAÇÃO

SUBÁREA ou SIMPÓSIO: Composição e Sonologia

Augusto Armondes

Escola de Música da UFMG – augusto_armondes@hotmail.com

Sérgio Freire

Escola de Música da UFMG – sfreire@musica.ufmg.br

Caio Campos

Escola de Música da UFMG – costacaiocampos@gmail.com

Rubens Silva

Escola de Música da UFMG - rubensneto.8@gmail.com

Resumo. O trabalho apresenta uma aproximação multimodal da técnica de *strumming*, descrevendo a metodologia e os resultados obtidos até o momento. Com dados captados através de sensor de movimento (aceleração linear e velocidade angular), extração de *onsets*, áudio multicanal e vídeo em 240 fps, compara a performance de três músicos em relação às diferenças nas estratégias para a realização do ritmo proposto e à regularidade de cada um, utilizando a análise de componentes principais (ACP) como ferramenta importante deste estudo.

Palavras-chave. Técnica violonística. Strumming. Multimodalidade. Ritmo musical.

Title. A First Multimodal Approach to the Strumming Technique

Abstract. The paper presents a multimodal approach to the strumming guitar technique, describing the methodology and the results obtained so far. Based on data captured through motion sensor (linear acceleration and angular velocity), onset extraction, multichannel audio and 240 fps video, we compared the performance of three musicians, with respect to the differences in the realization of the proposed rhythm and to the regularity of each one, using the principal component analysis (PCA) as an important tool in this study.

Keywords. Guitar technique. Strumming. Multimodality. Musical rhythm.

1. Introdução

Este trabalho sobre a técnica de *strumming* para violão é um excerto de uma pesquisa em nível de mestrado que propõe investigar o gesto da mão que ataca as cordas, produzindo o som. Já realizamos alguns estudos sobre esta técnica, todos baseados exclusivamente em informações extraídas dos sinais de áudio. Fundamentados apenas nessas pesquisas não se pode obter elementos detalhados sobre o gesto físico que o produz. Daí o acréscimo de novas ferramentas para uma abordagem multimodal: um sensor de movimento, os chamados IMUs (Inertial Measurement Units), e gravação em vídeo com uma resolução adequada.

A literatura sobre esta técnica é bastante rara. Além da produção própria, encontramos apenas dois estudos recentes ligados ao tema (VISI; SCHRAMM; MIRANDA, 2014; MATSUSHITA; IWASE, 2013).

Após uma breve discussão sobre multimodalidade, apresentaremos as ferramentas de extração e processamento de sinais, descrevendo as captações de áudio, vídeo e gesto e os princípios das análises dos dados. Detalharemos então o experimento realizado e em seguida os resultados e discussões. Finalmente, os próximos passos da pesquisa.

2. Multimodalidade

A multimodalidade pode ser definida como a utilização de mais de um modo sensorial/semiótico em um processo de expressão/comunicação.

A fusão de modalidades leva ao conceito de multimodalidade. Multimodalidade é baseada no uso de modalidades sensoriais com as quais humanos recebem informações, como toque, visão, audição etc., e requer o uso de ao menos duas modalidades de resposta em relação à apresentação da informação, como a atividade verbal e a manual. (MOURA, 2008, p. 37, t.n.)

Portanto, performances instrumentais (bem como praticamente todo processo de comunicação e expressão humana) são naturalmente multimodais, tendo em vista que além do resultado sonoro temos também informações visuais sobre o gestual corporal do instrumentista, sua expressão facial, etc. No caso de performances puramente instrumentais, os gestos do performer ao realizar uma determinada técnica influem diretamente em seu resultado sonoro.

Apesar de tais relações serem de tamanha importância para a performance, na área musical as atividades de pesquisa e criação com abordagem multimodal só começam a ser mais frequentes a partir do final do século XX (CAMURRI *et al*, 2000; CADOZ; WANDERLEY, 2000; JENSENIUS *et al*, 2010; LEMAN, 2008), com os avanços tecnológicos e as possibilidades trazidas pelo uso dos computadores pessoais a partir de meados dos anos 1990. Seguindo esta linha, o presente trabalho visa o aprofundamento da compreensão da técnica de *strumming* por meio de análise de dados de diferentes fontes e modalidades.

3. Ferramentas de extração e processamento de sinais

3.1 GuiaRT

O GuiaRT é um sistema de extração e criação de texturas sobre trechos tocados no violão (ARMONDES, 2017). Em um instrumento especialmente adaptado com captação hexafônica, na qual o som de cada corda é obtido individualmente, conseguimos extrair várias informações: frequências fundamentais, amplitudes, articulações, etc. Para o foco desse trabalho, utilizaremos o *onset* de cada corda tocada durante a execução do ritmo proposto para cálculos de densidade dos acordes e o intervalo de tempo entre o ataque na primeira e última corda de cada gesto (*Inter-onset Interval*), que chamaremos de espalhamento (*temporal spread*) do acorde.

No *strumming* não há perda significativa de energia da vibração entre os ataques sucessivos em cada corda, como em acordes *plaqué*, onde os dedos interrompem a vibração das cordas. Na maioria das vezes, ocorre apenas um transiente de alta frequência no reataque. Em certos casos pode acontecer até de uma corda não ser atacada e suas vizinhas sim, o que depende da direção do movimento, posicionamento da palheta e dedilhado da mão esquerda. Detalhes da extração de onsets podem ser vistos em (FREIRE; NÉZIO, 2013).

O GuiaRT está implementado em Max/MSP, uma linguagem de programação visual voltada para música e multimídia, referência mundial em sistemas musicais interativos por seu grande potencial de processamento em tempo real. A Figura 1 mostra o resultado de uma extração, com destaque para os *onsets*, em ms.

1,	1944	6	40	0	824	-18	0	7.696853	0	0	0	0.;
2,	1949	5	47	2	326	-15	0	7.265836	0	0	0	0.;
3,	1979	4	52	2	285	-11	0	5.659743	0	0	0	0.;
4,	2000	3	55	0	251	-13	0	5.688028	0	0	0	0.;
5,	2019	2	59	0	216	-13	0	5.178263	0	0	0	0.;
6,	2040	1	64	0	189	-12	0	4.27051	0	0	0	0.;
7,	2229	1	64	0	475	-12	0	3.381457	0	0	0	0.;
8,	2235	2	59	0	288	-16	0	3.758808	0	0	0	0.;
9,	2251	3	55	0	269	-16	0	3.981949	0	0	0	0.;

Figura 1: Output do GuiaRT de um trecho com destaque para os *onsets*. Na ordem horizontal temos: evento, *onset* (ms), corda, nota MIDI, casa, duração (ms), amplitude (dB), flag de ligado, centroide espectral, indicadores de articulação (harmônico, pizzicato, vibrato) e microafinação.

3.2 Vídeo

O intervalo de tempo de *onset* entre cordas vizinhas nesse tipo de ritmo estudado é em média de 5 ms e de 30 ms de espalhamento total, como veremos mais adiante. Com a captura de vídeo em 240 fps, resolução máxima da câmera GoPro Hero 3 utilizada no experimento, conseguimos abranger razoavelmente esses eventos. Embora não seja o ideal, essa amostragem de vídeo não influencia os resultados, já que estamos analisando o espalhamento global neste trabalho.

O GuiaRT nos indica o *onset* de início e final de cada gesto (que nem sempre é realizado nas 6 cordas do instrumento), coincidentes com os pontos observados no vídeo, mas não traz informação sobre mudança de direção ou amplitude dos gestos, fato que pretendemos estudar. Vale ressaltar que em ritmos com grande intervalo de tempo entre os gestos, é comum, como estratégia para manutenção do pulso, que apareçam gestos sem ataque nas cordas.

3.3 Sensor de Movimento

Utilizamos o IMU MetaMotionR, da empresa MbientLab.¹ Consiste em um pequeno sensor de 9 graus de liberdade no formato de relógio que transmite, via *bluetooth*, informações de aceleração linear, velocidade angular e magnetômetro em três dimensões, além de outras grandezas físicas (Figura 2). Com bateria interna recarregável torna-se de simples uso e fácil transporte. No modo streaming, o sensor é capaz de transmitir os dados a uma frequência de 100 Hz.

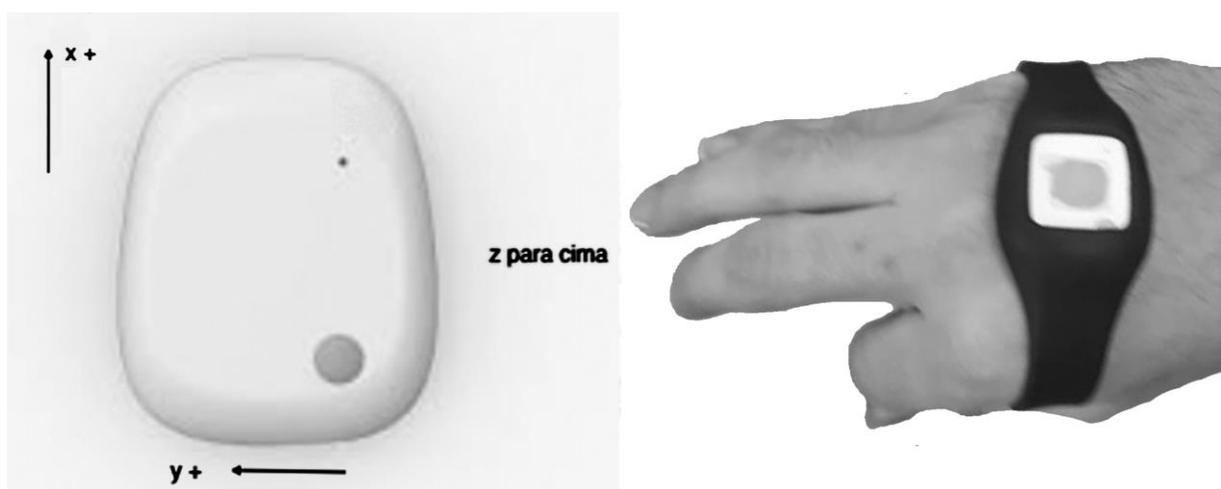


Figura 2: IMU MetaMotionR, da empresa MbientLab. À esquerda, as setas indicam a orientação dos três eixos no sentido positivo. À direita, vê-se este sensor bem compacto, posicionado na mão do performer.

O fabricante não oferece, até o momento, software para o uso desse sensor no modo streaming para sistemas operacionais MacOS. Tivemos, portanto, que escrever um drive para o sistema MacOS 10.14 (Mojave), a partir da adaptação de códigos fornecidos pela MbiEntLab e um framework dedicado ao OSC (Open Sound Control), desenvolvido por Devin Roth (2016). Neste estudo não utilizamos o modo de fusão dos dados, que permite eliminar a influência da gravidade na resposta dos acelerômetros, já que a amostragem do magnetômetro é de 25 Hz.

Em protocolo OSC, via UDP, recebemos dentro Max/MSP também os dados do sensor de movimento, onde conseguimos uma visualização em tempo real das curvas. Mesmo com programação em 100Hz, a entrega dos dados do sensor não é constante. Isso se deve ao protocolo de conexão *bluetooth LE* (GOMEZ;OLLER;PARADELLS, 2012). Utilizamos um clock interno no Max para captura dos dados do sensor. A cada 10 ms, independente da chegada de um novo valor, é feita a leitura das informações, que alimentam um filtro de média móvel de 5 pontos. Desse modo evitamos perder ou repetir valores enviados pelo sensor.

Realizamos alguns testes para medir o atraso global de resposta do sensor com o setup utilizado, incluindo não apenas os atrasos de transmissão mas também o tempo de reação do sensor em queda livre, e em média encontramos o valor de 21 ms. Portanto, esse valor é ajustado aos dados do sensor para sincronização com o áudio e vídeo.

3.4 Estratégias de sincronização

Com informações vindas de diferentes meios, a sincronização é um fator importante para a correta interpretação dos dados. O áudio, dados do GuiaRT e do IMU são gravados no Max/MSP através do mesmo comando, garantindo a simultaneidade. Posteriormente, descontamos a latência encontrada nos testes do sensor de movimento de 21 ms.

O vídeo, diferentemente das outras três fontes, possui um comando de gravação independente. A sincronização é feita através dos áudios (gravado no Max/MSP e na câmera) no software After Effects, da Adobe, que também é o ambiente que nos permite avançar *frame a frame* e localizar os pontos de mudança de direção e ataques nas cordas. Desse modo alinhamos temporalmente os dados para o estudo.

3.5 PCA

A análise de componentes principais (ACP), muitas vezes designada por sua sigla em inglês PCA, “é um procedimento matemático que utiliza uma transformação ortogonal (ortogonalização de vetores) para converter um conjunto de observações de variáveis possivelmente correlacionadas num conjunto de valores de variáveis linearmente não correlacionadas chamadas de componentes principais” (ANÁLISE, 2020). A partir do cálculo da covariância entre as variáveis analisadas, esse procedimento determina eixos ortogonais nos quais ocorrem variações conjuntas máximas, representando assim uma rotação das variáveis para um novo sistema de coordenadas, com dimensões menores (ou no máximo iguais) aos da distribuição original. Cada componente principal é calculado como uma combinação linear das variáveis observadas, à qual pode ser atribuído um peso de sua contribuição para a variação total. Como exemplo, usaremos os dados de velocidade angular nos três eixos cartesianos (x , y e z) medidos pelo giroscópio do MetaMotionR em uma das gravações realizadas. A Figura 3 representa em sua parte superior as variações da velocidade angular em cada um dos eixos, e na parte inferior os componentes principais calculados para este conjunto de dados. Pode-se notar que o primeiro componente agrupa as variações simultâneas das velocidades nos eixos x e z , que neste caso ocorrem no mesmo sentido. A título de ilustração: cada ponto do primeiro componente é assim calculado: $c1(t) = 0,38x(t) - 0,03y(t) + 0,93z(t)$, o que revela o grande peso do eixo z na componente mais importante dos recursos técnicos empregados nesse trecho.

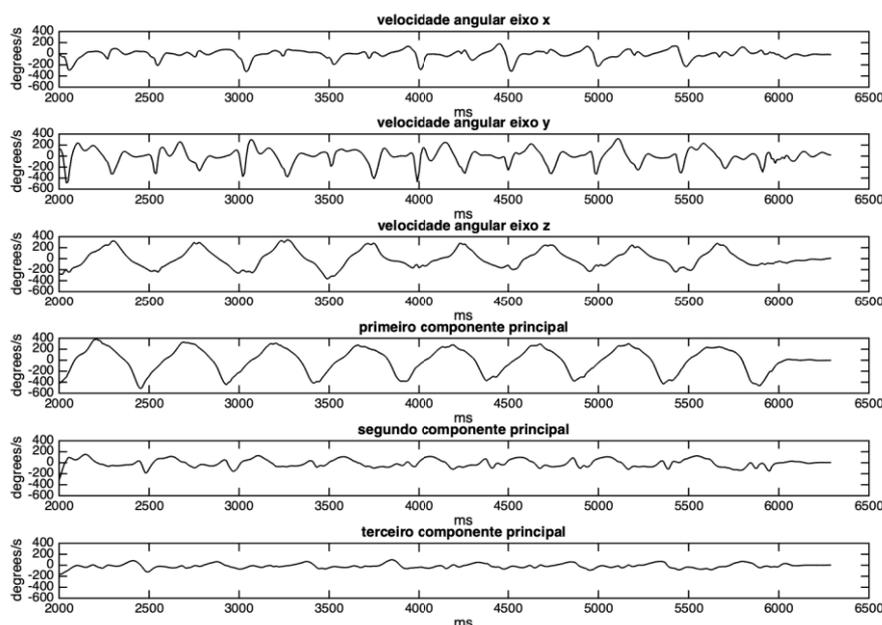


Figura 3: Aplicação do PCA nas velocidades angulares em x , y e z do *take 1* do músico A, com os 3 componentes principais, que correspondem a 100% da variação dos dados.

Outra ferramenta importante para o estudo da regularidade da técnica de *strumming* é a análise do espectro das curvas de variação das velocidades angulares, que serão representadas pelas curvas de seus componentes principais. Espera-se que no presente caso todos os excertos apresentem um peso considerável na frequência de 2 Hz, que é a base do movimento de vai-e-vem, tanto na translação quanto na rotação da mão. Diferenças nos pesos relativos de componentes harmônicos podem indicar particularidades de cada músico.

4. Experimento piloto

Nessa análise inicial gravamos um ritmo simples, com gestos descendentes (cordas graves para agudas) e ascendentes consecutivos no instrumento, com uma troca de acorde, mostrado na partitura da Figura 4. Três executantes realizaram os registros em três *takes* cada.² A técnica foi aplicada em seu modo mais usual, iniciando-se o trecho com um gesto descendente.



Figura 4: Partitura do trecho executado para estudo. As setas sob a pauta indicam a direção do gesto.

Todas as gravações foram realizadas com metrônomo, tendo dois pulsos de espera antes do início, com a utilização de palheta de nylon Jim Dunlop Tortex com 0,88 mm de espessura.³ O sensor de movimento foi posicionado centralizado nas costas da mão com mesma orientação para todos os músicos (Figura 2). Este é o local de fixação do sensor com maior proximidade da palheta, sem que atrapalhe os movimentos estudados, sendo bem mais sensível aos movimentos de translação e rotação do que o pulso do músico. Os músicos não demonstraram desconforto com a palheta nem com o sensor. A gravação simultânea dos dados (áudio e sensor) é controlada por um pedal acionado pelo performer. Já a gravação de vídeo é acionada manualmente, antes do pedal.

Não foi indicado nada além do que está escrito na partitura. A hipótese inicial do projeto é que os músicos possuem estratégias diferentes de execução do *strumming*. Neste estudo piloto, no entanto, devido à simplicidade e regularidade dos gestos prescritos, não se esperava que as performances demonstrassem claramente essas diferenças.

Como resultado temos, para cada registro: uma lista de dados gerada pelo GuiaRT similar a mostrada na Figura 1; outra lista do sensor de movimento, com número do evento, aceleração linear nos eixos x , y e z , e velocidade angular também nos eixos x , y e z ; vídeo da performance; áudio direto dos captadores em 6 canais, utilizado para sincronia do vídeo e conferência de *onsets*; lista com os pontos de segmentação do gesto.

5. Resultados e discussões

Mesmo em um ritmo muito simples observamos diferenças globais entre os performers. A Tabela 1 mostra os dados relacionados à quantidade de notas de cada performer nos 3 *takes*. De acordo com a partitura eram esperadas 96 notas; no entanto deve-se relativizar este número, já que nessa técnica as partituras normalmente não prescrevem como se deve dar a execução. É comum que os acordes sejam indicados por cifras ou tablatura, e que o ritmo seja indicado por flechas para cima e para baixo. O número de cordas, a velocidade do gesto e a dinâmica na realização de cada acorde são decisões pessoais de cada músico, o que nos leva a uma reflexão sobre como a notação musical não abrange todas as variáveis envolvidas no *strumming* e o motivo de existirem essas diferenças interpretativas.

Os músicos A e B se aproximaram na quantidade de notas tocadas, com médias de 85,67 e 85 no trecho, respectivamente. Já o músico C possui média de 45 notas. Isso ocorre pela clara diferenciação entre os planos graves e agudos utilizada por este performer, no qual o gesto descendente mira as cordas graves e o ascendente as agudas. Com desvio padrão de $\pm 2,65$ o músico B se apresenta como o mais regular nos 3 *takes*, seguido do músico A, com $\pm 3,21$, e do músico C, com $\pm 7,1$, indicando que um dos motivos para menor regularidade do número de notas pode ser a intenção da separação dos planos.

	Quantidade de notas		
	Músico A	Músico B	Músico C
Take 1	82	87	53
Take 2	87	82	44
Take 3	88	86	39
Média e desvio padrão	$85,67 \pm 3,21$	$85 \pm 2,65$	$45 \pm 7,1$

Tabela 1: Quantidade de notas dos três músicos em cada *take* com a média e o desvio padrão.

O espalhamento dos acordes e a duração total dos gestos também indicam diferenças entre os músicos. Os músicos estavam sentados na gravação, com o violão posicionado aproximadamente perpendicular ao plano do chão, de modo que os gestos estão diretamente ligados à influência da gravidade: no sentido descendente a seu favor e no ascendente oposto a ela. Essa adaptação constante em relação a gravidade é também um fator relevante para o músico na regularidade do seu gesto. A Tabela 2 mostra as informações extraídas do *take* 1 de cada performer.

	Média e desvio padrão do espalhamento temporal (ms) – Take 1			
	Gesto total		Produção de som	
	Descendente	Ascendente	Descendente	Ascendente
Músico A	226,33 ± 15,7	267,75 ± 10,73	25,78 ± 10,46	22,25 ± 9,88
Músico B	295,78 ± 102,58	249 ± 3,54	53,44 ± 31,3	48,25 ± 19,45
Músico C	266,78 ± 68	248,75 ± 12,6	35,78 ± 32,82	18,12 ± 13,6

Tabela 2: Média e desvio padrão da duração total dos gestos, e do espalhamento dos acordes em ms, extraídos do *take* 1 de cada músico.

Notamos que a fase de produção de som ocupa uma fração pequena do gesto total nessa amostra, variando de 7% a 19%. Cada músico possui uma característica distinta em relação à duração do gesto. Na descendente: A é mais regular e possui intervalo geral menor; B é consideravelmente mais irregular e mais lento; C está no meio termo entre os outros músicos. Essa natureza se reflete no período de produção de som no mesmo sentido, mantendo aproximadamente o mesmo aspecto. Já na ascendente, B e C estão próximos e mais rápidos que A, invertendo a condição anterior, porém seu reflexo na produção de som não se mantém. Como discutiremos a seguir, a rotação da mão e o modo como os dedos seguram a palheta podem justificar essas diferenças.

O gesto do *strumming* é composto principalmente por 2 movimentos dependentes entre si em sua aplicação: o de subida e descida da mão, e o da rotação da mão na junção com

o pulso, gerando um movimento no mesmo sentido de subida e descida. Ambos são captados pelo sensor, por meio da aceleração linear em cada eixo (embora esses valores estejam influenciados pela aceleração da gravidade) e velocidade angular, respectivamente. Concentremos na velocidade angular do gesto. Aplicando o PCA sobre as médias de cada músico (Figura 5), o primeiro componente representa de modo mais intuitivo o gesto. Analisaremos também o espectro dos componentes (Figura 6) para observar a regularidade e suavidade desses gestos. As inclinações ascendentes e descendentes do primeiro componente principal são coerentes com a duração total dos gestos apresentadas na Tabela 2, indicando forte correlação entre essas grandezas.

A coerência entre as rotações nos diferentes eixos ortogonais também pode ser indicada pelas amplitudes do primeiro componente, observáveis na Figura 5. Para o músico A, o peso deste componente é de 84,4%, para o músico B é de 73% e para o músico C 56,9%, o que por si só já indica a presença de estratégias gestuais bastante distintas entre os participantes.

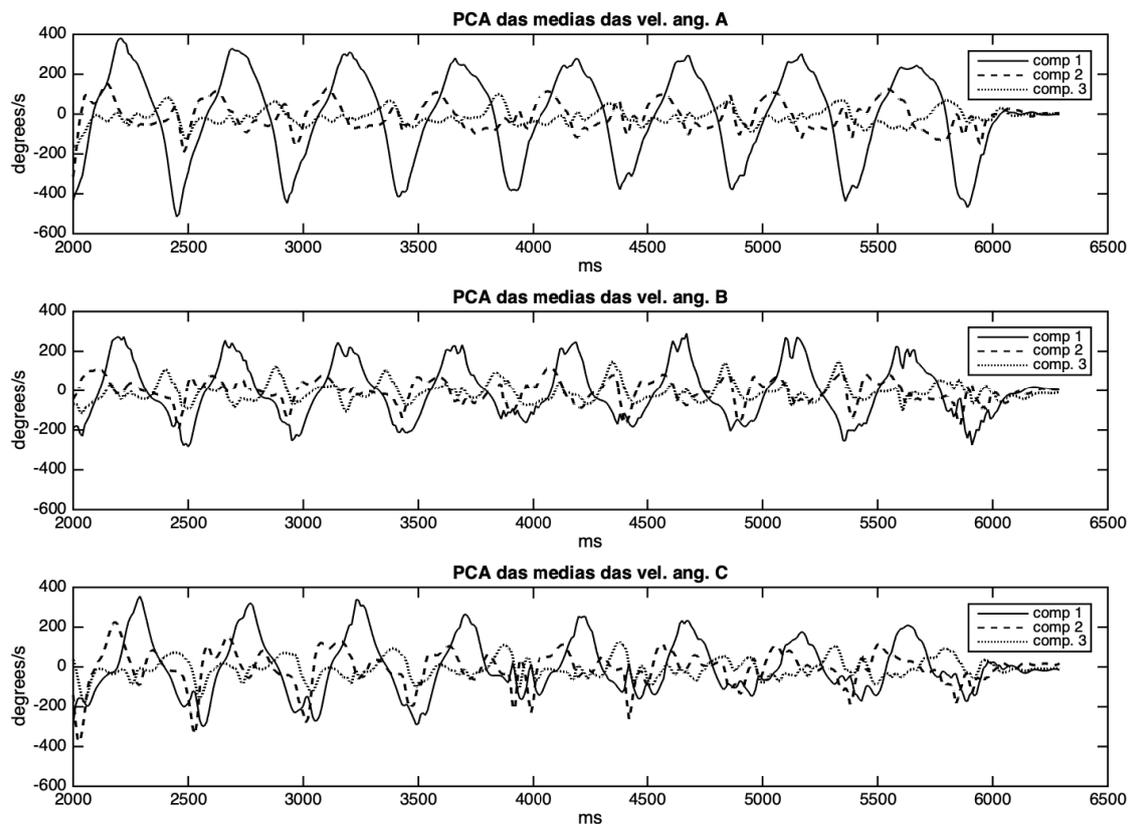


Figura 5: PCA das médias das velocidades angulares dos músicos A, B e C. O primeiro componente tem peso significativo e está bem relacionado à regularidade dos gestos. As diferenças entre os músicos indicam as distintas estratégias de execução do trecho.

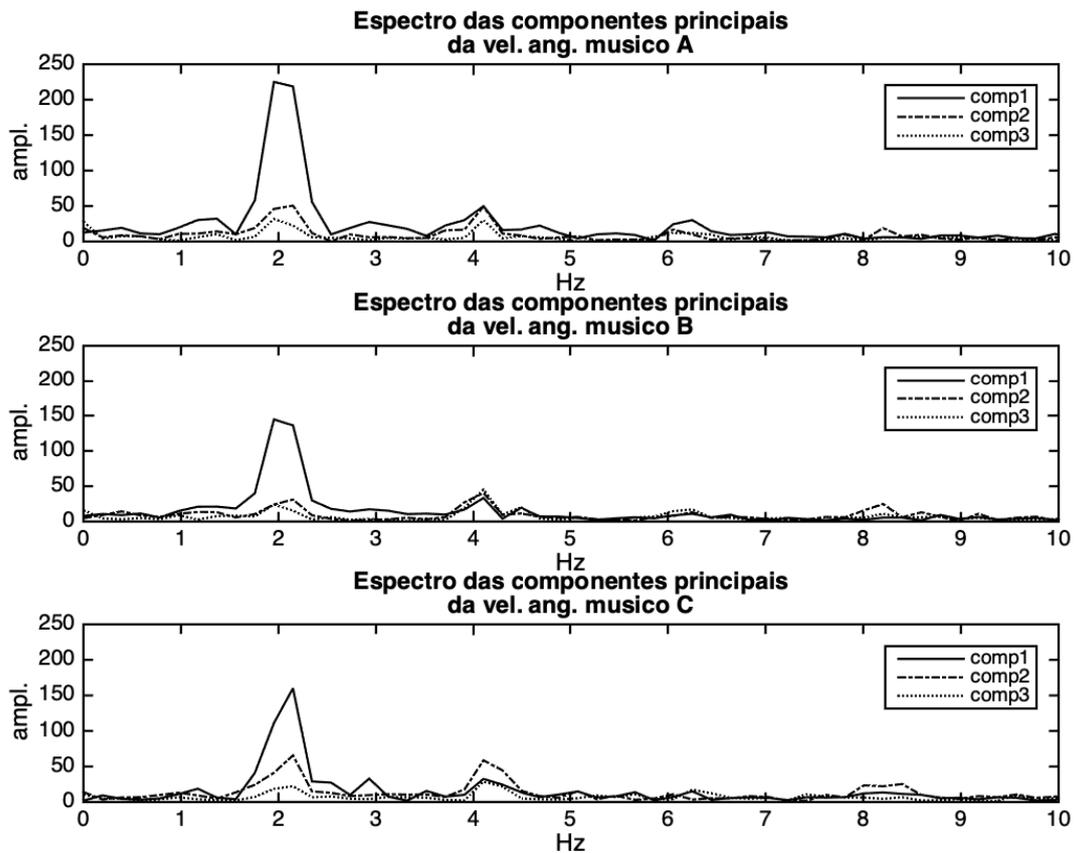


Figura 6: Espectro dos componentes principais da velocidade angular dos três músicos. Considerando uma unidade de gesto como uma descida e uma subida, com metrônomo a 60 bpm, é esperada uma componente significativa na frequência de 2 Hz.

O andamento do trecho executado é de 60 bpm. Com o ritmo em semicolcheias, contendo 4 acordes/gestos por tempo, e considerando que cada unidade de movimento possui uma descida e uma subida da mão (ou duas semicolcheias), é esperado que a frequência do gesto seja de 2 Hz. Todos os músicos apresentam essa frequência bem proeminente no primeiro componente, destacando-se a maior amplitude do músico A. Os demais harmônicos se derivam da já comentada assimetria das curvas ascendentes e descendentes (a título de exemplo, uma onda dente-de-serra, com seus harmônicos com intensidades decrescentes, seria um exemplo extremo dessa assimetria). A forte presença de 4 Hz nos demais componentes indicam a existência de movimentos menores e mais rápidos acompanhando o gesto principal.

Mesmo com os resultados afetados pela influência dinâmica da gravidade, podemos também comparar as curvas de aceleração. A Figura 7 mostra as curvas de aceleração nos três eixos (e também seu módulo) presentes na execução dos quatro primeiros acordes do primeiro *take* de cada músico. Observando os módulos das acelerações, pode-se

notar uma curva com menor amplitude do músico B, que certamente se deve à posição de sua mão ao segurar a palheta: enquanto o polegar e o indicador a seguram (como fazem os demais músicos), os demais dedos permanecem esticados e afastados, como se não pertencessem ao órgão responsável pelo toque. Já o músico A, que apresenta as curvas de aceleração x e y bem similares, usa toda a mão (com os demais dedos acompanhando a curvatura do indicador) para executar o gesto. A similaridade dessas curvas, que estão associados aos eixos z e x de rotação, respectivamente, certamente está correlacionada à grande amplitude do primeiro componente principal das velocidades angulares desse músico (ver Figuras 3 e 5). O músico C segura a palheta de modo semelhante ao músico B, embora integre bem mais os dedos restantes em seu gesto, o que explica uma amplitude mais acentuada do módulo de sua curva de aceleração. Devido à diferenciação que ele faz entre os planos grave e agudo, suas rotações são menos coerentes entre si, e do mesmo modo as acelerações nos eixos x e y . As ondulações presentes em alguns momentos das curvas do músico B (e em menor grau também dos demais músicos), podem estar relacionadas à reação da mão ao choque da palheta com as cordas, que são destacadas com uma “pegada” mais leve.

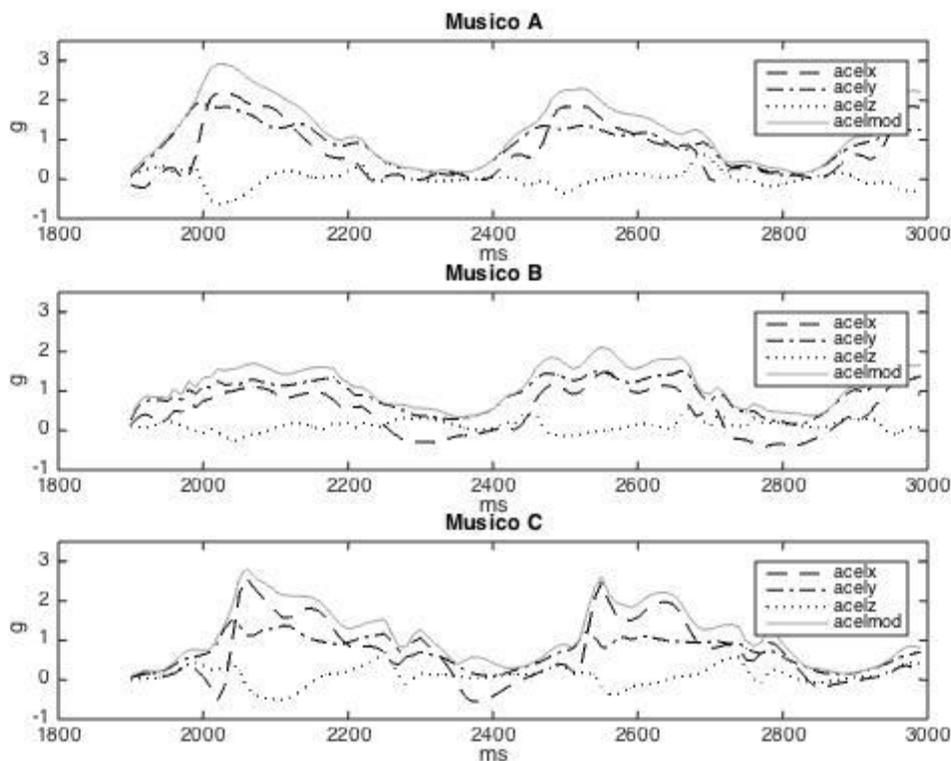


Figura 7: Curvas de aceleração nos eixos x , y , z e seu módulo presentes na execução dos quatro primeiros acordes do primeiro *take* de cada músico.

6. Considerações finais

Esperamos ter demonstrado as contribuições que uma abordagem multimodal pode trazer para a análise da técnica de *strumming*, ao associar dados extraídos do áudio multicanal, dos movimentos e das imagens de vídeo. A complementaridade entre a observação do comportamento temporal de diferentes curvas e as análises mais gerais (como PCA e espectros) revelou-se uma ferramenta importante neste estudo.

Embora haja alguma discrepância entre a precisão dos dados extraídos do áudio (na faixa de 1 ms), do sensor (amostragem de 100 Hz, e atraso de resposta variável, com média em 21 ms) e do vídeo (240 fps), é possível associá-las em um único gráfico, conforme pode ser visto na Figura 8. Adicionando o pulso de referência utilizado nas gravações, pode-se também integrar à análise questões de precisão e expressão rítmicas.

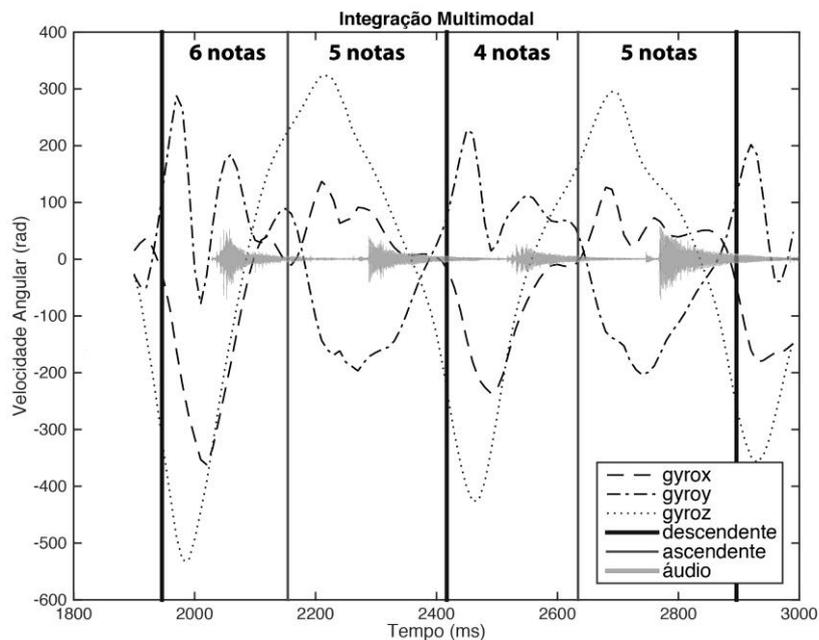


Figura 8: Exemplo de uma possibilidade de integração. No gráfico temos: do sensor de movimento, velocidades angulares; do vídeo, os pontos de segmentação do gesto nos dois sentidos (ascendente e descendente); do GuiaRT, quantidade de notas em cada acorde e áudio.

O próximo passo da pesquisa é a realização de um novo estudo com um ritmo mais complexo, utilizando o sensor no modo de fusão de dados (há um modo de orientação espacial relativa, que prescinde do magnetômetro, capaz de gerar *streaming* a 100 Hz). Com isto poderemos obter tanto dados de aceleração linear (sem o efeito da gravidade) e de posicionamento espacial do sensor, que certamente enriquecerão as análises.

Referências

- ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2019. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=An%C3%A1lise_de_componentes_principais&oldid=55520598. Acesso em: 10 mar. 2020.
- ARMONDES, Augusto. GuiaRT, um sistema em tempo real de extração e re-criação de texturas musicais utilizando um violão de nylon. In: 3o Nas Nuvens... Congresso de Música, 2017, Belo Horizonte. 3o Nas Nuvens... Congresso de Música: anais. Escola de Música da UFMG, Belo Horizonte/MG, 2017., 2017.
- CAMURRI, A.; HASHIMOTO, S.; RICCHETTI, M.; TROCCA, R.; SUZUKI, K.; VOLPE, G.. *EyesWeb - Toward gesture and affect recognition in dance/music interactive systems*. Computer Music Journal, MIT Press, v. 24, n. 1, pp. 57-69, 2000.
- CARDOZ, Claude; WANDERLEY, Marcelo. *Music - Gesture*. Trends in Gestural Control of Music, M.M. Wanderley and M. Battier, eds. © 2000, Ircam - Centre Pompidou. pg. 71-94.
- FREIRE, Sérgio; Lucas Nézio . Study of the tremolo technique on the acoustic guitar: experimental setup and preliminary results on regularity. In: SMC 2013: 10th Sound and Music Computing Conference, 2013, Estocolmo. Proceedings of the Sound and Music Computing Conference 2013. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology, 2013. v. 1. p. 329-334.
- GOMEZ, C.; OLLER, J.; PARADELLS, J. *Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology*. *Sensors* 2012, 12, 11734–11753.
- JENSENIUS, Alexander Refsum; WANDERLEY, Marcelo M.; GODOY, Rolf Inge; LEMAN, Marc. *Musical Gesture: Concepts and Methods in Research*. Musical Gestures: Sound, Movement and Meaning. Edited by Rolf Inge Godoy and Marc Leman. New York: Routledge, 2010. p.12-35
- LEMAN, Marc. *Embodied Music Cognition and Mediation Technology*. MIT Press: Cambridge, 2008.
- MATSUSHITA, S.; IWASE, D. *Detecting strumming action while playing guitar*. *Proc. ISWC*, Zürich, 2013, pp. 145–146.
- MOURA, H. *Bringing multimodality and affordances to design of Technology Enhanced Learning Environment*. 158 p., Dissertação (Doutorado em Design). Chicago, Illinois, US, 2008.
- VISI, Frederico; SCHRAMM, Rodrigo; MIRANDA, Eduardo. *Gesture in performance with traditional musical instruments and electronics: Use of embodied music cognition and multimodal motion capture to design gestural mapping strategies*. International Conference on Movement and Computing, 2014.

Notas

¹ <https://mbientlab.com/metamotionr/>

² Uma gravação em vídeo de um *take* de cada músico pode ser acessada em: <https://vimeo.com/420043911>

³ <https://www.jimdunlop.com/tortex-standard-pick-88mm/>